



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# PARAMETRISEN SUUNNITTELUN HYÖDYNTÄMINEN ERIKOISAJO- NEUVOJEN SUUNNITTELUSSA

TEKIJÄ: Jaakko Kainulainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Jaakko Kainulainen			
Työn nimi Parametrisen suunnittelun hyödyntäminen erikoisajoneuvojen suunnittelussa			
Päiväys	28.4.2016	Sivumäärä/Liitteet	21
Ohjaajat Lehtori Anssi Suhonen, Yliopettaja Esa Hietikko			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani J5L-Production Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin J5L-Production Oy:n toimeksiannosta. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää parametrisesti konfiguroitava 3D-malli yrityksen valmistamasta erikoisajoneuvon varustelukomponentista. Työn kohteeksi rajattiin vetolaatikoston 3D-mallin kehittäminen. Sen lisäksi työn aihealueeseen valittiin laatikostojen materiaali-vaihtoehtojen analysointi ja kehittäminen. Työn tarve syntyi lukuisten laatikostoihin tehtävien pienten muutosten vuoksi. Muutoksia aiheuttavat asiakkaiden toiveet ja käytettävät ajoneuvon alustavaihtoehdot.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla olemassa olevan vetolaatikoston 3D-malliin ja sen valmistukseen. Työn aikana kehitettyistä malleista ensimmäinen perustui Bottom-Up-mallinnustekniikkaan. Tällä tavalla 3D-mallista ei saatu sellaista, joka olisi ollut käyttökelpoinen. Työtä jatkettiin mallintamalla tuote uudestaan Top-Down-mallinnustekniikalla, jolloin pystyttiin Solidworks-suunnitteluohjelman parametrisuutta hyödyntämään paremmin.</p> <p>Työn tuloksena kehitettiin parametriset mallit kahdelle hieman erilaiselle vetolaatikoston mallille. Malliin luodun Design Table-laskentataulukon avulla tuotteen geometrian muutoksia pystytään hallitsemaan nopeasti. Kehitettyjen mallien käyttöönoton myötä voidaan vetolaatikostojen suunnitteluun käytettyä aikaa lyhentää ja samalla vaikuttaa hieman lopullisen tuotteen eli kokonaisen ajoneuvon valmistusaikaan.</p>			
Avainsanat Parametrisointi, konfigurointi, modulointi			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author Jaakko Kainulainen			
Title of Thesis Utilization of Parametric Design in Special Vehicles			
Date	April 28, 2016	Pages/Appendices	21
Supervisors Mr Anssi Suhonen, Senior Lecturer; Mr Esa Hietikko, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners J5L-Production Oy			
<p>Abstract</p> <p>This final year project was commissioned by J5L-Production Oy. The main purpose of this project was to develop and produce a configurable parametric 3D-model of an armament component used in a special vehicle that the company is manufacturing. The project was limited to include development of a 3D-model for a drawer component. In addition to this, the project focused on seeking an alternative material for drawer components. The demand for the project was created since there had been series of alternations of drawers due to customer needs and depending on the vehicle chassis.</p> <p>The work was started by exploring drawers made by the company and also the manufacturing process. The first created 3D-model was based on the Bottom Up modeling method. The results did not meet the expectations, so the work was continued by modeling the drawer again using the Top Down method. This enabled using the parametric abilities of the Solidworks designing software better.</p> <p>As a result of the project two slightly different 3D-models were made. It was possible to make changes to the product geometry effectively by the Design Table spreadsheet included in the model. Deployment of these created 3D-models can shorten the time used to product designing. The effect can be seen in designing the drawer components and possibly also in the total manufacturing time of an entire vehicle.</p>			
Keywords Parametrisation, configuration, modularity			
Public			

## ESIPUHE

Haluan kiittää J5L-Production Oy:n suunnittelupäällikköä Juha Repoa mahdollisuudesta tehdä haastava ja mielenkiintoinen opinnäytetyö. Haluan myös kiittää työni ohjaajia lehtori Anssi Suhosta ja yliopettaja Esa Hietikkoa saamastani ohjauksesta opinnäytetyöprosessina aikana. Tuesta ja kannustamisesta haluan myös kiittää puolisoani ja muita läheisiäni.

Kuopiossa 28.4.2015

Jaakko Kainulainen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	J5L-PRODUCTION OY .....	7
3	MODULOINTI JA MASSARÄÄTÄLÖINTI .....	8
3.1	Massaräätälöinnin taustaa .....	8
3.1.1	Massaräätälöinnin neljä perusmuotoa .....	9
3.1.2	Massaräätälöinnin edellytykset ja vaatimukset.....	10
3.1.3	Massaräätälöinnin edut ja haitat.....	11
3.2	Modulointi .....	11
3.3	Modulaarisuuden tyyppejä.....	12
3.4	Konfigurointi.....	14
3.5	Konfiguraattorit .....	15
3.6	Massaräätälöinnin, konfiguroinnin ja moduloinnin välinen yhteys .....	16
4	PARAMETRINEN PIIRREMALLINNUS.....	17
4.1	Konfiguraatiot piirremallinnuksessa .....	18
4.2	Tuotetiedon hallinta .....	19
5	TULOKSET JA POHDINTA.....	20
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	21

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia mahdollisuuksia nopeuttaa erikoisajoneuvoissa käytävien kalustekomponenttien suunnittelua. Asiakaskohtaisesti räätälöidyissä tuotteissa joudutaan usein suunnittelemaan komponentteja tai niiden osia uudelleen asiakkaiden muuttuvien toiveiden mukaan. Nämä muutokset ovat kuitenkin verrattain pieniä ja niiden toteuttaminen voitaisiin tehdä hyödyntämällä tuotteen 3D-mallin parametrisuutta. Parametrinen tuotemalli mahdollistaa konfiguraattorin käytön suunnittelun aputyökaluna, jolloin pelkästään komponenttien yhteensopivuuden tarkistaminen kokoonpanossa voi olla riittävää niiden uudelleensuunnittelun sijaan.

Parametrisoinnin ja konfiguroinnin voi helposti liittää modulointiin ja massaräätelöintiin. Tämän työn teoriaosuuden alussa käsitelläänkin mainittuja aihealueita ja niiden sidoksia toisiinsa. Massaräätelöinti on ylemmän tason käsite ja siten melko laaja joten sitä voidaan toteuttaa monella tavalla. Tuotteen modulaarisuudella mahdollistettu konfigurointi on esimerkiksi yksi tapa. Työssä käydään läpi myös parametrisen piirremallinnuksen perusasioita. Parametrisesta piirremallinnuksesta käytetään usein myös nimitystä 3D-suunnittelu tai tietokoneavusteinen suunnittelu.

Tämä raportti on opinnäytetyön julkinen versio, josta on jätetty pois parametrisen 3D-mallin kehittämistä käsittelevä luku sekä materiaalivaihtoehtojen kehittämiseen keskittynyt luku. Tässä versiossa työn tuloksia käsitellään suppeammin. Työn tilanteen yrityksen kanssa käydyn keskustelun perusteella osa työn sisällöstä on päätetty salata, koska työssä käsitellään yrityksen liikesalaisuuksia.

Työ on tehty J5L-Production Oy:n toimeksiannosta. Työ rajataan siten, että päätavoitteeksi valitaan ajoneuvoissa varustelukomponenttina käytettävän vetolaatikoston uudelleensuunnittelu. Työssä tavoitellaan mallin kehittämistä parametriseksi ja siten helposti konfiguroitavaksi Solidworks-suunnitteluhjelmalla. Työn toinen aihealue ja tavoite on pohtia vetolaatikostoissa käytettävän materiaalin kehittämisvaihtoehtoja.

## 2 J5L-PRODUCTION OY

J5L-Production Oy on erikoisajoneuvojen koritöihin erikoistunut yritys. Korityöt räätälöidään tapauksittain asiakkaiden vaatimusten mukaan. Vuosittain valmistetaan noin 140 – 150 erikoisajoneuvon korityötä. Yrityksen tuotevalikoimaan kuuluu ambulansseja, kenttäjohtoautoja, poliisiautoja, arvokuljetusautoja sekä puolustusvoimille varusteltuja autoja ja muita yksittäisesti räätälöityjä koritöitä. Yrityksellä on hieman alle 30 työntekijää, joista noin kolmannes on toimihenkilöitä. Kauppalehden mukaan vuonna 2013 yrityksen liikevaihto oli 4,11 miljoonaa euroa. Yrityksen visioita ovat vuosittainen 10 %:n kasvu ja 15 %:n markkinaosuus ambulansseista Suomen markkinoilla. Tällä hetkellä yrityksen TKI-toiminta onkin suuntautunut ambulanssien kehittämiseen. Kuvassa 1 on esimerkki yrityksen valmistamasta ambulanssista. (Komulainen, 2016)

Yritys on perustettu vuonna 2008 ja se toimii Alapitkällä Lapinlahden kunnassa, jonne sen toiminnot siirtyivät lokakuussa 2014 Kuopiosta ja Iisalmesta. Muuton myötä yrityksen tuotannon toimintaa on tehostanut CNC-jyrsin, jonka avulla pystytään entistä tehokkaammin suorittamaan monia työvaiheita varustelukomponenttien valmistuksessa. Suuri osa yrityksen valmistamista komponenteista valmistetaan jyrsimellä. Tuotannossa käytetään paljon myös yrityksen suunnitteleimia komponentteja, joita alihankkijat valmistavat. Myös ostokomponenteilla, kuten sähköosilla, on suuri merkitys tuoterakenteessa. Opinnäytetyön tavoitteena on nopeuttaa CNC-jyrsimellä valmistettavien kaapistojen suunnitteluprosessia. Kaapistoja valmistetaan useimmiten piensarjoissa, jolloin suunnitteluun kuluva aika on suhteellisesti suuri verrattuna sarjan valmistuksessa kuluvaan aikaan.



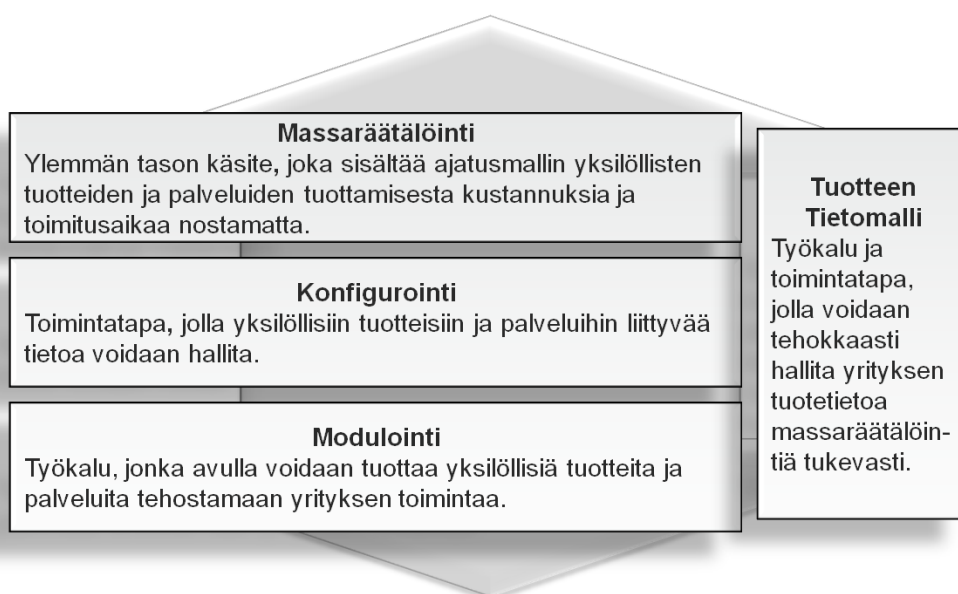
KUVA 1 J5L-Productionin valmistama ambulanssi (J5L-Production Oy 2016)

### 3 MODULOINTI JA MASSARÄÄTÄLÖINTI

#### 3.1 Massaräätälöinnin taustaa

Massaräätälöinnin perusajatuksena on hallita yrityksen tuotevariointia ja samalla maksimoida asiakas- kaskohtaista toteutusta, ja pyrkiä massatuotannon tehokkuuteen silti kustannuksia nostamatta. (Jokela 2011) Massaräätälöidyn tuotteen tuoterakenne perustuu sarjavalmistetuista komponenttien ja moduulien käyttöön. Varsinainen räätälöinti pyritään tekemään mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa, vasta loppukokoonpanossa, tai rajoittamaan yksittäisten komponenttien ja moduulien alueelle. (Soronen 1999, s.7)

Massaräätälöinnin (*engl.* Mass Customization) kehittymisen voidaan katsoa alkaneen Japanissa Taiichi Ohnon 1950-luvulla Toyotan tehtaalla käyttämien ratkaisujen myötä. Tuolloin Japanissa alettiin tuottaa entistä yksilöllisempiä tuotteita alhaisemmin kustannuksin. Nykyään tuolloin käytetyistä toimintatavoista käytetään yleisnimitystä Lean-tuotanto. (Soronen 1999, s.9) Varsinaisesti massaräätälöinti-termi esiteltiin Stanley M. Davisin kirjassa *Future Perfect* (1987). Massaräätälöintiä käsittelevä ensimmäinen tieteellinen julkaisu vaikuttaa olevan Philip Kotlerin *From Mass Marketing to Mass Customization* (1989). Massaräätälöinnin edelläkävijänä pidetään myös B. Joseph Pine II:sta teokseen *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, (1993). (Sarinko 1999) Pinen kirjassa massaräätälöinti määriteltiin tarkoittamaan ”yksilöllisten tuotteiden ja palvelujen tuottamista ja jakelua massatuotannon keinoin.” Kuvassa 2 on havainnollistettu massaräätälöintiin keskeisesti liittyviä termejä ja niiden sidoksia massaräätälöintiin.



KUVA 2 Massaräätälöintiin liittyvien käsitteiden määritelmiä ja liitännäsidoksia toisiinsa (Jokela 2011)



Käsitteenä massaräätälöinti on hyvin laaja, mutta sen idea on asiakaslähtöinen: yksilöllinen tuote tai palvelu syntyy, kun asiakastilauksen mukainen konfigurointi tehdään. Tuotteen perusrakenne eli suunnittelualusta suunnitellaan moduloiduksi siten, että haluttu yksilöllinen tuote voidaan rakentaa esivalmistetuista komponenteista tilausohjautuvasti. Tuotteen perusrakenne perustuu vakio-osiin, mutta asiakaskohtaisessa vaiheessa toteutetaan haluttu yksilöllinen ratkaisu. Esivalmistettujen osien, komponenttien ja moduulien valmistamisessa voidaan käyttää imuohjausta ja loppukokoonpano voidaan tehdä asiakasohjautuvasti työntöohjauksen periaatteita noudattaen. (Soronen 1999, s.9)

### 3.1.1 Massaräätälöinnin neljä perusmuotoa

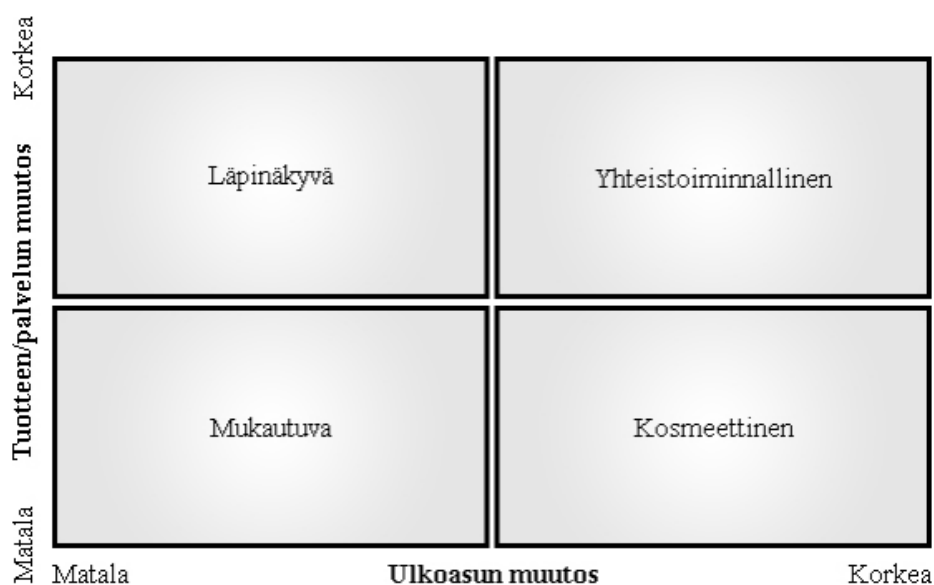
Massaräätälöinnillä voidaan katsoa olevan neljä perusmuotoa, joiden avulla voidaan lähestyä asiakkaita parhaimman mahdollisen palvelun tuottamiseksi. Usein lähestymistapoja yhdistellään, joskus jopa kaikkia neljää tekniikkaa, parhaan lopputuloksen saamiseksi. Käytetyt tekniikat ovat nimiltään yhteistyö, mukautuva, kosmeettinen ja läpinäkyvä. Tekniikat muodostavat kuvan 3 mukaisen massaräätälöinnin nelikentän. (Gilmore & Pine II 1997, s.92; Suolahti 2009, s.17)

Yhteistyötekniikan keskeisin elementti on tuotteita valmistavan yrityksen ja asiakkaan välinen keskustelu, jonka perusteella saadaan selville tieto asiakkaan tarpeista. Tätä lähestymistapaa kutsutaan yleisesti massaräätälöinniksi. Massatuotettujen tuotteiden välillä asiakas joutuu tekemään usein kompromisseja vaadituista ominaisuuksista. Massaräätälöinnin keinoin voidaan kuitenkin tuottaa asiakkaalle tuote ilman ominaisuuksien heikkenemistä tai yksilöllistä tuoterakennetta ja yksittäisvalmistusta. (Suolahti, 2009) Yhteistyötekniikan avulla yrityksen ei tarvitse valmistaa lukematonta määrää valmiita lopputuotteita varastoon, vaan tarvittava määrä eri komponentteja ja moduuleja varastoidaan puskurivarastoihin. Tuotteita valmistetaan imuohjautuvasti puskurivarastojen komponenteista kysynnän mukaan juuri oikeaan tarpeeseen ja juuri oikeaan aikaan. (Gilmore & Pine II, 1997)

Mukautuvaa räätälöintitekniikkaa voidaan käyttää tuotteissa, joita asiakas voi itse helposti muokata sopimaan omaan käyttöönsä. Mukautuvasti räätälöityviä tuotteita valmistava yritys tarjoaa asiakkailleen yhtä standardituotetta, jota kukin käyttäjä voi muokata sopimaan omiin tarpeisiinsa. Mahdollisuudet ja vaihtoehdot kustomointiin ovat rakennettuina tuotteeseen, joten tuotteen tai palvelun myyminen yrityksen ei välttämättä tarvitse olla edes vuorovaikutuksessa asiakkaan kanssa tuotteen räätälöinnissä. (Gilmore & Pine II, 1997)

Kosmeettinen räätälöintitekniikka tarkoittaa sitä, että varsinainen käytettävä tuote tai palvelu ei muutu, vaan muoto tai tapa jolla se tarjotaan asiakkaalle, muotoillaan haluttavaksi. Riippuen esimerkiksi tuotteiden jälleenmyyntiketjusta voidaan muokata ominaisuuksia, jotka eivät vaikuta sen varsinaiseen käyttöön, kuten etikettiä ja pakkauskokoa. Kosmeettinen räätälöinti vaikuttaa yksinkertaiselta, mutta sen käyttö tehokkaasti ja onnistuneesti voi olla haastavaa. (Gilmore & Pine II, 1997)

Läpinäkyvällä räätälöintitekniikalla tarkoitetaan tuotteen tai palvelun muokkaamista asiakkaalle sopivaksi huomaamattomalla tavalla. Läpinäkyvä räätälöintitekniikka on täysin vastakohtainen kosmeettiseen tekniikkaan verrattuna, koska toimiakseen läpinäkyvästi kustomoidun tuotteen ulkomuoto tai pakkaus on oltava standardoitu, joskin palvelun tai tuotteen sisältöä voidaan kustomoida. Läpinäkyvää räätälöintitekniikkaa voidaan käyttää liiketoimialoilla, joilla voidaan seurata asiakkaiden tottumuksia pitkän aikavälin aikana. Palvelun tai tuotteen tuottavan yrityksen ei tarvitse jatkuvasti olla yhteydessä asiakkaaseen ja häiritä heitä jatkuvilla kyselyillä tuotteen tai palvelun parantamiseksi. (Gilmore & Pine II, 1997)



KUVA 3 Massaräätälöinnin nelikenttä (Ahoniemi et al., 2007)

### 3.1.2 Massaräätälöinnin edellytykset ja vaatimukset

Massaräätälöinti on strateginen valinta, johon siirtyminen on seuraus yritysten kasvaneesta kilpailusta ja halu tarjota asiakkaiden tarpeet tyydyttäviä tuotteita. Markkinaosuuden säilyttämiseksi tai kasvattamiseksi yritysten tulee olla valmiita vastaamaan asiakkaiden kasvaviin ja nopeasti muuttuviin vaatimuksiin. Tuotteen täytyy olla räätälöitävissä juuri asiakkaan näkökulmasta katsottuna. (Sarinko 1999, s.14)

Kilpailutilanteessa yritysten voi olla vaikeaa kilpailla vanhoilla toimintatavoilla. Asiakkaiden tarpeet muuttuvat ja kasvavat koko ajan, joten yrityksen on jatkuvasti kehitettävä toimintaansa. Yleisesti yritysten täytyy lyhentää tuotteidensa tuotekehitysaikoja ja saada tuotteet nopeammin markkinoille. Massaräätälöintiin voidaan siirtyä vähitellen pitkällä aikavälillä, nopeasti yrityksen strategiamuutoksen yhteydessä tai luomalla täysin uusi liiketoiminta-alue. (Sarinko 1999, s.15)

Onnistuakseen massaräätälöinti vaatii koko yrityksen toimintatavan muutoksen sekä kaikkien työntekijöiden sitoutumisen uuteen toimintatapaan. Kuitenkin tuotteen menestyminen on viime kädessä

riippuvainen asiakkaista. Massaräätälöintiin siirtyminen on saatu vaikuttamaan helpolta ja selkeältä tavalta parantaa kilpailukykyä Joseph Pinen kirjassa. Tosiasiassa toimintatavan muutosprosessi on aina vaikea ja aikaa vievä. Yrityksillä on usein monia erilaisia tuotteita ja jokaiselle tuotteelle tai tuoterheelle on määriteltävä omat toimintastrategiansa. Joitakin tuotteita ei kannata massaräätälöidä lainkaan. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi sellaiset, joiden valmistuksen volyymit ovat muutamia kymmeniä tai useita tuhansia vuodessa. Täysin massavalmisteisen tuotteen massaräätälöinti ei välttämättä anna tuotteelle lisäarvoa asiakkaiden näkökulmasta ja toisaalta räätälöitävien tuotteiden massaräätälöintiin siirtyminen aiheuttaa siitä johtuvien kiinteiden kustannusten jakautumisen liian pienelle tuotantomäärälle. (Sarinko 1999, s.47)

### 3.1.3 Massaräätälöinnin edut ja haitat

Massaräätälöinti luo mahdollisuudet asiakastarpeiden tyydyttämiseen tuotevariaatioilla kustannuksia kasvattamatta. Vaikka tuoteyksilöt poikkeavat toisistaan, voidaan valmistuskustannuksia pienentää tilaus-toimitusketjun prosessien pysyvyyden ja tehokkuuden avulla. Myös lyhentynyt läpimenoaika vähentää varastoon kertynyttä pääomaa ja lisää samalla myyntiä. Asiakkaiden arvostaessa varioitavuutta he voivat olla jopa valmiita maksamaan tuotteesta enemmän. Tärkein massaräätälöinnillä saavutettava etu on kuitenkin kyky vastata asiakastarpeisiin nopeasti ja edullisesti. Yrityksen toimintatavan muutoksen jälkeen vastuuta on siirretty myös alemmille tasoille, mikä motivoi työntekijöitä. (Sarinko 1999, s.22)

Massaräätälöintiin liittyvät myös omat riskinsä. Rajoitukset ja mahdolliset vaarat on tarpeen selvittää ennen toimintatavan muutosta. Huolellisen analyysin jälkeen on mahdollista tunnistaa ongelmakohtat ja tarttua niihin jo varhaisessa vaiheessa. On tärkeää määrittää liiketoiminta siten, että massaräätälöinnillä voidaan saavuttaa merkittäviä etuja kilpailijoihin nähden. Ongelmia voi aiheutua esimerkiksi asiakkaiden vastareaktioista. Vastareaktioiden syitä voivat olla tuotteiden nopeat muutokset, jotka aiheuttavat niiden nopean vanhenemisen tai useat turhat ominaisuudet, jotka eivät tuo tuotteelle lisäarvoa asiakkaan näkökulmasta. Myös suuret teknologiset muutokset voivat olla ongelma massaräätälöinnin hyödyntämiselle joissain tuotteissa. Räätälöinti on tarpeetonta, jos markkinoille tulee tuote, joka sopii kaikille. (Sarinko 1999, s.22)

## 3.2 Modulointi

Modulointi mahdollistaa räätälöityjen tuotteiden tuottamisen rajallisesta määrästä moduuleja. Kullakin moduulilla on keskenään vaihtokelpoisia variantteja, joiden toiminnot ovat erilaisia, mutta niiden tuotteeseen liittyvät rajapinnat ovat yhteisiä ja vakioituja. Tuote rakentuu, kun moduuleista valitaan käytettävät variantit. Erilaisten tuotteiden lukumäärä saadaan kertomalla eri moduulien varianttien määrät keskenään. Esimerkiksi tuotteella, joka koostuu kolmesta moduulista, joissa kussakin on kolme mahdollista varianttia, on  $3 \times 3 \times 3 = 27$  mahdollista yhdistelmää. (Soronen 1999, s.19) Modulaarisuudella voidaan vähentää tuotteen monimutkaisuutta, koska se mahdollistaa tuotteen käsittelemisen pienemmissä toiminnallisissa kokonaisuuksissa, jotka voidaan suunnitella ja valmistaa

erillisinä. Moduloinnin avulla asiakkaiden vaatimuksia tuotteelle on helpompi hallita ja kehittää. Modulointi yhdistetään usein variointiin, sillä modulaarinen tuoterakenne mahdollistaa tuotteen varioimisen. Moduloinnin tarkoitus ei ole kuitenkaan tarjota mahdollisimman suurta määrää variaatioita asiakkaille, koska tarpeeton variointi on kannattamatonta yritykselle. (Sarinko 1999, s.33)

Modulointi on määritelty Lapinleimun kirjassa seuraavasti: ”Moduulilla tarkoitetaan lopputuotteen rakenteellista kokonaisuudeksi katsottavaa, rajapinnoiltaan määritettyä osaa. Modulointi tarkoittaa tuotteen rakenteen kehittämistä moduuleista koostuvaksi.” (Lapinleimu 2000, s.34)

### 3.3 Modulaarisuuden tyyppejä

Modulointia voidaan toteuttaa viiden eri perusmuodon mukaan. (Pine 1993; Suolahti 2009)

#### *Komponenttien käyttö useammassa tuotteessa (Component Sharing Modularity)*

Komponenttien käyttöä useammassa tuotteessa käytetään kustannuksien alentamista varten. Tämän tyyppisellä modulaarisuudella ei saavuteta yksilöllistä räätälöintiä parhaalla tavalla, mutta se mahdollistaa alhaiset kustannukset tuotannossa. Komponenttien käyttö useammassa tuotteessa toimii parhaiten, kun halutaan vähentää osien lukumäärää ja siten parantaa jo olemassa olevan tuotantolinjan kustannustehokkuutta. (Pine 1993, s.200; Suolahti 2009, s.27)

#### *Komponenttien vaihtokelpoisuus (Component-Swapping Modularity)*

Komponenttien vaihtokelpoisuudella tarkoitetaan eri komponenttien käyttämistä perustuotteen kanssa, jolloin saadaan mahdollisimman monta erilaista tuotetta, riippuen komponenttien lukumäärästä. Ero komponenttien vaihtokelpoisuuden ja useamman eri käyttökohteen välillä on usein kiinni modulointiperspektiivistä. (Pine 1993 s.202; Suolahti 2009 s.28)

#### *Parametrisoitu modulaarisuus (Fabricate to Fit Modularity)*

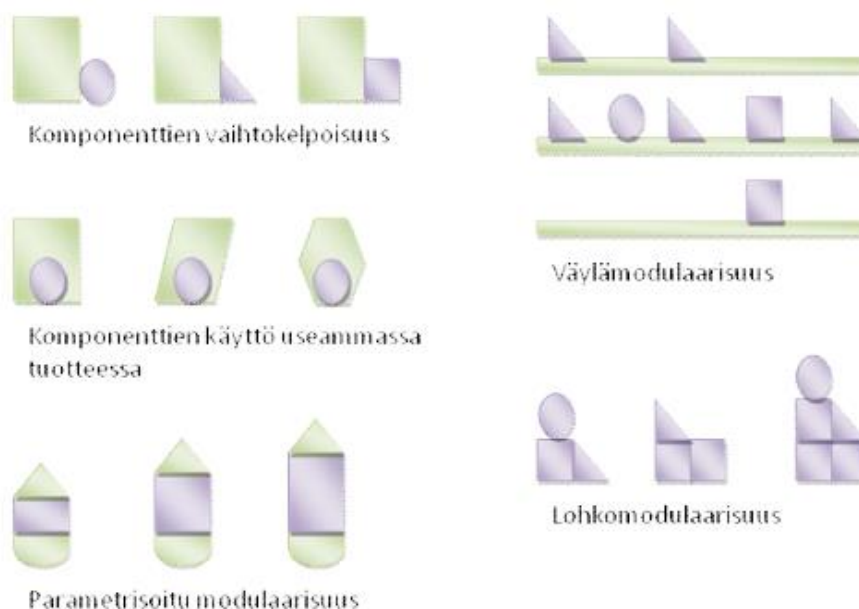
Parametrisoidussa modulaarisuudessa yhtä tai useampaa komponentin mitta voidaan muuttaa tarpeen mukaan asetettujen arvojen ja rajojen sisällä. Parametrisointi sopii parhaiten tuotteille, komponentin varioituvuus asiakkaan tarpeiden mukaan antaa tuotteelle lisäarvoa asiakkaalle. Massaräätälöinnin hyödyt saadaan käyttöön, kun asiakkaan ei tarvitse tehdä kompromissia mittojen suhteen, vaan voidaan valmistaa yksilöllinen tuote. (Pine 1993, s.203; Suolahti 2009, s.28)

#### *Väylämodulaarisuus (Bus Modularity)*

Väylämuotoista modulaarisuutta hyödyntävät tuotteet rakennetaan standardialustalle. Alustaan voidaan asentaa tietty määrä erilaisia komponentteja. Väylämuotoisen modulaarisuuden termi tulee elektroniikkateollisuudesta, missä käytetään väylätekniikkaa. Standardialustaan perustuvaa väylämodulaarisuutta voidaan kuitenkin soveltaa muissakin teollisuuden aloissa. (Pine 1993 s.205; Suolahti 2009, s.28)

### *Lohkomodulaarisuus (Sectional Modularity)*

Lohkomodulaarisuus mahdollistaa suurimman varioimis- ja räätälöintiasteen. Se mahdollistaa minkä tahansa eri komponenttien muodostaman konfiguraation miltei mielivaltaisella, kunhan komponentit ovat kiinnitettävissä standardirajapinnan avulla. (Pine 1993, s. 208; Suolahti 2009, s.28)



KUVA 4 Pinen mukaiset modulaarisuustyypit (Suolahti 2009)

### *Valinta- ja Pino-modulaarisuus*

Viiden perusmodulaarisuuden lisäksi voidaan tarkastella kahta erikoistapausta. Nämä ovat valinta-modulaarisuus (on-off-modularity) ja pino-modulaarisuus (stack-modularity). Valinta-modulaarisuus on erikoistapaus komponenttien vaihtokelpoisuudesta, jolloin moduuli joko valitaan tai sille varattu paikka jätetään tyhjäksi. Pino-modulaarisuus on taas parametrisen modulaarisuuden alatyyppejä. Hyödynnettäessä pino-modulaarisuutta voidaan esimerkiksi tuotteen pituutta muuttaa moninkertaistamalla moduulien lukumäärää. (Lehtonen 2007, s.48; Suolahti 2009, s.29)



KUVA 5 Valinta- ja pinomodulaarisuus (Suolahti 2009)

### 3.4 Konfigurointi

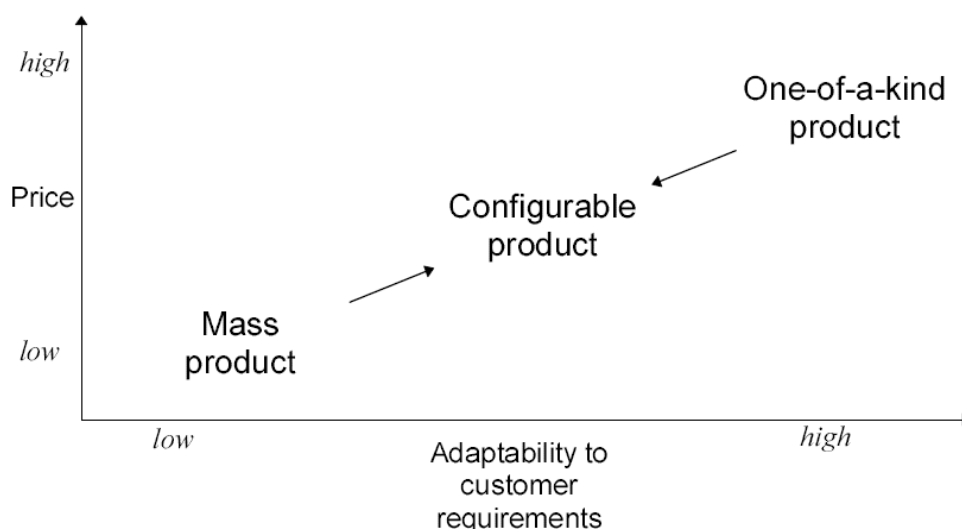
Konfiguroinnin tavoitteena on parantaa kykyä vastata tehokkaasti asiakkaiden nopeasti muuttuviin vaatimuksiin. Sen tuloksena syntyy asiakaskohtaisia tuoteyksilöitä. Konfiguroinnissa asiakas voi tilausvaiheessa valita toiveidensa mukaisia toimintoja.

Konfigurointi, eli systemaattinen tuotteen variointi on yksi massaräätälöinnin keinoista. Toisin kuin massaräätälöinnin, konfiguroinnin voi määritellä suhteellisen tarkasti. Konfigurointi on osa yrityksen toimintamallia ja tärkeä osa siitä on määritelty tilaus-toimitusprosessissa. Tavoitteena on erotella suunnittelu ja toimitus niin, että kaikki asiakastoimitukset ohjataan konfiguroinnin läpi. Tämä voidaan saavuttaa tarjoamalla modulaarinen tuoteperhe ja rajoittamalla variaatioiden määrää konfiguroinnin asettamien rajojen avulla. Asetettujen rajojen perusteella voidaan toimitettavia tuotevariaatioita määritellä systemaattisen konfiguraatioprosessin mukaan tai automaattisesti käyttämällä konfiguraattoria, eli konfigurointiohjelmia. Tällä hetkellä tärkein yksittäinen syy moduloinnille on konfigurointi. (Lehtonen 2007, s.70; Suolahti 2009, s.22)

TEKESin vuosina 1997 - 1999 rahoittaman KONSTA –projektin (Konfiguroitavien tuotteiden tuki) tutkimuksen mukaan konfiguroitava tuote voidaan määritellä seuraavasti.

1. Jokainen toimitettu tuote on yksilö, joka on sovitettu asiakkaan tarpeita vastaavaksi.
2. Tuoteyksilö koostuu ainoastaan esisuunnitelluista elementeistä
3. Tilaus- ja toimitusprosessissa tarvitaan vain systemaattista rutiinisuunnittelua, kuten ennalta suunniteltujen elementtien valintaa ja yhteensopivuuden tarkistamista.
4. Toimitettavia tuoteyksilöitä vastaa ennalta suunniteltu yleinen tuoterakenne, jonka variaatiot on tehty arvioituja markkinoiden tarpeita silmällä pitäen. (Lehtonen 2007, s.70; Suolahti 2009, s.22)

Yritykset voivat siirtyä konfiguroitaviin tuotteisiin joko massa- tai projektituotteista. Massavalmisteista tuotteista konfiguroitaviin siirryttäessä syynä on ollut kasvattaa asiakkaiden mahdollisuuksia valita lähes täysin omiin tarkoituksiin sopivia tuotteita. Vastaavasti projektituotteista siirryttäessä yrityksen on rajattava asiakastoiveita tarjoamalla suuren valikoiman asiakastarpeet tyydyttäviä tuotevariantteja yksittäistuotteiden sijaan. Tällöin asiakkaan tulee valita tuotteen ominaisuudet jo valmiiksi määritetyistä vaihtoehdoista. Tilannetta on kuvattu kuvassa 6. (Sarinko 1999, s.23)



KUVA 6 Konfiguroitavat tuotteet verrattuina massatuotteisiin ja räätälöitäviin tuotteisiin (Tiihonen & Soininen 1997)

Konfigurointiin liittyy kaksi erilaista tapahtumaa, jotka ovat itse konfigurointitapahtuma ja konfiguroitavien tuotteiden tuotekehitys. Konfigurointitapahtumassa määritellään konfiguroitu tuoteyksilö tuotteen tilaus-toimitusprosessissa. Konfiguroitavan tuotteen tuotekehityksessä tulee ottaa huomioon tuotepolitiikka, joka tulee määritellä tarkoin. Tuotepolitiikan avulla määritellään ja rajataan valintamahdollisuudet ja luodaan tuotteelle säännöt. Tuotepolitiikan luomiseen voi liittyä vaikeita päätöksiä asiakastoiveiden rajaamisen ja porrastamisen suhteen, varsinkin projektituotteista konfiguroitaviin siirryttäessä, jonka takia usein joudutaan rajaamaan asiakastoiveiden määrää. (Sarinko, 1999)

### 3.5 Konfiguraattorit

Tilaukset-toimitusketjussa tapahtuvaan tuoteyksilön määrittelyn työkaluksi on kehitetty erilaisia konfiguraattoreita. Konfiguraattorisovellusten tarkoitus on auttaa yritystä hallitsemaan muuttuva tietoa komponenteista sekä konfiguraatiosääntöjä. Aikaisemmin konfiguraattori on voinut olla tulostettu tilauskaavake, jota käyttämällä on pystytty valitsemaan tuotteeseen tarvittavat komponentit. 1980-luvulta lähtien on alettu käyttämään tietojärjestelmäpohjaisia konfiguraattoreita. Konfiguraattorityökalu voi helpottaa myyjän toimintaa tuotteen myyntitapahtumassa, sillä käyttämällä konfiguraattoria myyjän on mahdollista käydä läpi erilaisia teknisiä ratkaisuja ilman suunnittelijan läsnäoloa. Konfiguraattorin käyttö vähentää siten virheellisiä tilauksia. Muita konfiguraattorin käytöllä saavutettavia etuja ovat myös läpimenoaikojen lyheneminen ja parantunut tuotetiedon hallinta. Konfiguraattori voidaan yhdistää PDM-järjestelmään, jolloin saadaan valmiiksi määritellyt konfiguraation mukaiset osaluettelot ja piirustukset tilatulle tuotteelle. (Sarinko, 1999)

### 3.6 Massaräätälöinnin, konfiguroinnin ja moduloinnin välinen yhteys

Massaräätälöinti, konfigurointi ja modulointi liittyvät asiakaskohtaisten tuotteiden suunnitteluun ja tuottamiseen. Näistä massaräätälöinti on ylimmän tason käsite, joka sisältää ajatusmallin asiakaskohtaisten tuotteiden tarjoamisesta kustannuksia ja toimitusaikaa nostamatta. Konfigurointi on osa massaräätälöintiä. Se on toimintatapa, jolla asiakaskohtaisia tuotteita voidaan toteuttaa. Modulointi on työkalu, jonka avulla voidaan tehostaa yrityksen toimintaa asiakaskohtaisten tuotteiden luomiseksi.

Konfiguroinnin voidaan katsoa olevan yksi massaräätälöinnin toteutustavoista. Konfigurointi liittyy massaräätälöintiin yhteistoiminnallisen ja mukautuvan räätälöinnin näkökulmista. Yleisesti konfiguroitavat tuotteet on toteutettu modulaarisella tuotearkkitehtuurilla, koska se mahdollistaa tuotteen jakamisen konfiguroitaviin osiin ja osakokonaisuuksiin. Kuitenkin modulaarinen tuotearkkitehtuuri voidaan toteuttaa muutoinkin kuin moduloimalla. Muita tapoja tähän ovat parametrisointi ja komponenttien valinta. Parametrisoinnissa komponentille voidaan konfiguroinnissa määritellä useita arvoja, esimerkiksi äärimittoja. Parametrisilla komponenteilla voidaan pienentää komponenttien lukumäärää. Valittavat komponentit ovat yksittäisiä komponentteja, jotka valitaan konfiguroinnissa. Ne eroavat moduuleista, koska ne eivät täytä moduulin määritelmää esimerkiksi rajapintojen yhtenäisyyden mukaan.

Modulointia voidaan siis pitää tärkeänä edellytyksenä konfiguroinnille, joskin ei aivan välttämättömänä. Kuitenkin modulointia hyödynnettäessä asiakaskohtaisten tuotteiden tuotekehitys, suunnittelu ja valmistus ovat yksinkertaisempia. Modulointia voidaan hyödyntää massaräätälöinnin kaikissa toteutustavoissa, mutta konfiguroinnissa se on havaittu erittäin hyödylliseksi ja tehokkaaksi työkaluksi. (Sarinko, 1999)



## 4 PARAMETRINEN PIIRREMALLINNUS

Tietokoneavusteisessa mekaniikkasuunnittelussa käytetään nykypäivänä lähestulkoon aina parametrista piirremallinnusjärjestelmää, joka tarkoittaa suunniteltavan kohteen mallintamista kolmiulotteisen geometrian avulla. Kolmiulotteisen tietokonemallin avulla tuotteen ominaisuuksia ja rakennetta voidaan tutkia huomattavasti helpommin ja monipuolisemmin, kuin pelkästään kaksiulotteisten dokumenttien avulla. Kolmiulotteisen mallin avulla voidaan luoda tuotteesta valmistuspiirustukset tuotetta parhaimmin kuvaavien projektoiden avulla. (Hietikko 2012, s.23)

Parametrisuudella tarkoitetaan mahdollisuutta muuttaa kappaleen mittoja siten, että kappaleen mallin geometria muuttuu vastaavasti. Parametrisuus helpottaa muutosten tekemistä ja siten myös mallinnusta, koska usein suunnittelun alkuvaiheessa ei välttämättä tiedetä kappaleen tarkkoja mittoja. Tällöin voidaan hahmotella kappaleen geometria käyttämällä karkeita mittoja, joita voidaan tarkentaa suunnittelun edetessä. Parametrisuus näkyy myös siten, että kun esimerkiksi jonkin tuotteen kokoonpanon osaan tehdään muutos, muuttuu myös kokoonpanon malli ja piirustukset joihin muutunut tieto on linkitetty.

Piirremallinnuksessa malli rakennetaan sananmukaisesti piirteistä. Mallintaminen aloitetaan peruspiirteestä, johon suunnittelun edetessä lisätään mallia tarkentavia piirteitä. Piirteet voivat olla esimerkiksi pursotuksia, reikiä, uria tai pyöräyhdyspiirteitä. Osan piirteet tulevat näkyville piirrepuussa, joka kertoo käytännössä sen, kuinka malli on rakennettu. Kun mallinnettua osaa käytetään kokoonpanossa, voidaan kokoonpanon piirrepuusta tarkastella kunkin osan piirteitä ja tarvittaessa tehdä muutoksia niihin.

Parametrisessa piirremallinnuksessa voidaan mallin geometrian ja mittojen välille muodostaa relaatioita, joiden avulla voidaan määrittää esimerkiksi viivojen samansuuntaisuus, kaarien saman keskeytyssyy tai mittojen suuruuksien suhde. Jos yhtä relaatioon kytkettyä alkiota muutetaan, muuttuvat myös muut vastaavasti. Mittojen välille voidaan myös muodostaa matemaattisia yhteyksiä ja yhtälöitä. Geometrialle annetut relaatiot, mitat ja mahdolliset yhtälöt tulee ottaa huomioon mallinnussuunnitelmassa. Mallinnussuunnitelmalla tarkoitetaan hahmotelmaa siitä, kuinka malli rakennetaan ja kuinka se käyttäytyy, jos mallin mittoja halutaan muuttaa myöhemmin. Mekaniikkasuunnittelussa on usein mahdollisuus aloittaa tuotteen suunnittelu monilla eri tavoilla. Kuitenkin joissain tilanteissa muutosten hallinta on vaikeaa tai jopa mahdotonta puutteellisen mallinnussuunnitelman vuoksi. (Hietikko 2012, s.34)

Mallinnussuunnitelmassa on hyvä ottaa huomioon myös käytettävä kokoonpanostrategia. Kokoonpano voidaan muodostaa kolmella eri tavalla, jotka ovat Bottom-Up, Top-Down ja Hybrid. Käytettäessä Bottom-Up-menetelmää kokoonpanon luomisessa jokainen kokoonpanoon kuuluva komponentti mallinnetaan ensin, minkä jälkeen ne sijoitetaan paikoilleen kokoonpanoon. Menetelmä sopii käytettäväksi, jos kokoonpano rakentuu standardiosista tai jos kokoonpanoa rakennetaan tiimityönä. Top-Down-menetelmällä tarkoitetaan osien mallintamista suoraan kokoonpanoon oikeille paikoilleen.

Top-Down-menetelmän yksi suurimpia etuja on kokoonpanon muiden osien näkyminen, mitä voidaan hyödyntää osien suunnittelussa. Hybrid-menetelmä on edellisten yhdistelmä ja se on eniten käytetty. Vakio- ja standardiosat voidaan tuoda kokoonpanoon Bottom-Up-menetelmän tavoin ja tuotteelle erityiset osat voidaan mallintaa kokoonpanossa Top-Down-menetelmää ja jo kokoonpanossa olevia osia hyödyntäen. (Hietikko 2012, s.135)

#### 4.1 Konfiguraatiot piirremallinnuksessa

Parametrisissa piirremallinnusjärjestelmissä on mahdollista muodostaa myös konfiguraatioita malleista. Konfiguraatiot ovat eri variaatioita alkuperäisestä geometriasta, jota muokataan antamalla muuttujiksi määritellyille mitoille ja piirteille uusia arvoja. Hyödyntäessä konfiguraatioita ei erikokoisten mallien luomiseksi ei tarvitse tehdä kaikkea kokonaan alusta, vaan voidaan hyödyntää olemassa olevaa geometriaa antamalla sille uudet mitat. (Hietikko, 2012)

Suunniteltaessa konfiguroitavaa tuotemallia on otettava huomioon mallin käyttäytyminen eri konfiguraatioissa. Tämä tarkoittaa komponenttien sketsien relaatioiden ja mittojen määrittämistä siten, että konfiguraatioille annetut mitat eivät pääse aiheuttamaan ristiriitoja eri piirteiden tai kokoonpanojen liitosrajapintojen suhteen.

Konfiguroitavan tuotteen mallinnussuunnitelmaan on kiinnitettävä myös enemmän huomiota, kuin tuotteen josta valmistetaan vain yksi variaatio. Ensiksi on huomioitava mahdollinen variaatioiden määrä konfiguraatioissa. Jos variaatioita muodostuu vähän, tai varioituvia osia on kokoonpanossa vähän, suunnittelussa voidaan käyttää Bottom-Up-menetelmää. Tällöin konfiguraatioita joudutaan tekemään niin osien, kuin kokoonpanojenkin tasolla. Vaihtoehtoisesti jos mahdollisten variaatioiden määrä on suuri, tai varioituvia komponentteja on paljon, kannattanee silloin käyttää Top-Down-menetelmää. Top-Down-menetelmällä rakennetun mallin suunnittelu on monesti haastavampaa, mutta muutosten hallinta on nopeampaa sekä konfiguroituvien osien ja moduulien rajapintojen yhteensovittaminen helpompaa.

Top-Down-mallinnuksessa on mahdollista hyödyntää ns. skeleton-mallinnusta. Tällä tarkoitetaan apugeometrioiden luomista kokoonpanoon jo ennen komponenttien mallinnusta. Komponenttien mallinnuksessa hyödynnetään skeleton-sketsejä, luoden riippuvuuksia komponentin ja skeleton-sketsin välille. Jos riippuvuuksia määritettäisiin keskenään eri komponenttien välille, niin voitaisiin kohdata ongelmia mahdollisten muutosten takia, kuten yhden komponentin poistaminen kokoonpanosta. Kun komponenttien sijainti kokoonpanossa on riippuvainen skeleton-sketsistä, voidaan muutoksia hallita muuttamalla sitä, eikä esimerkiksi yhden komponentin poistaminen vaikuta toisiin komponentteihin. Skeleton-mallinnuksen mahdollistaessa kokoonpanon ja komponenttien muokkaamisen nopeammin ja myös luotettavammin, se voi kuitenkin olla suunnittelun alkuvaiheessa työläämpää ja ryhmätyöskentelyn suhteen monimutkaisempaa. (Laukkarinen 2014, s.34)

## 4.2 Tuotetiedon hallinta

Parametrisen piirremallinnuksen avulla on mahdollista tuottaa valtavasti digitaalisia dokumentteja tuotteista hyvinkin lyhyessä ajassa. Lisäksi dokumentteja on mahdollista muokata monella tasolla. Tämän vuoksi onkin tärkeää pystyä hallitsemaan luotua tietoa ja varmistaa muutosten siirtyminen oikein toisiinsa linkitetyissä dokumenteissa, kuten osien, kokoonpanojen ja piirustusten välillä.

Tuotetiedonhallinnasta käytetään yleisesti nimitystä *Product Data Management*, PDM. Moniin suunnitteluohjelmiin on rakennettu sisään tai on saatavilla lisäosana oma PDM-järjestelmä. Sen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat nimikkeiden, tuoterakenteiden, konfiguraatioiden, käyttöoikeuksien, tiedostojen sekä dokumenttien hallinta. Myös tiedostojen varmuuskopiointi, tiedonhaku, lokikirjanpito ja tietoholvi ovat järjestelmän tärkeitä ominaisuuksia. (Sääksvuori & Immonen 2002, s. 21 – 23)

Sääksvuoren ja Immosen kirjassa esitetään erään tutkimuksen tulokset, joiden mukaan insinöörin ajankäytöstä varsinaista tehokasta suunnittelutyötä olisi vain noin kolmannes käytetystä ajasta. Tutkimuksen mukaan työtä joka on jo jossain tehty aiemmin, saatetaan tehdä 21 % ajasta ja tiedon hakemiseen ja jakeluun menee noin 24 % työajasta. Tiedonjakeluun liittyvien kokousten osuudeksi on esitetty kuluvan 14 % työajasta. Jäljelle jäävä osuus kuluu lomiin, taukoihin ja muuhun toimintaan. Tutkimus on toki jo yli 20 vuotta vanha, mutta siitä huolimatta tuotetiedon hallinta on tärkeä osa-alue tuotesuunnittelussa, jotta suunnittelutoiminta olisi tehokasta.

## 5 TULOKSET JA POHDINTA

Tämä raportti on opinnäytetyön julkinen versio, josta on jätetty pois parametrisen 3D-mallin kehittämistä käsittelevä luku sekä materiaalivaihtoehtojen kehittämiseen keskittynyt luku. Tässä versiossa myös työn tuloksia käsitellään suppeammin. Työn tilanteen yrityksen kanssa käydyn keskustelun perusteella osa työn sisällöstä päätettiin salata, koska työssä käsiteltiin yrityksen liikesalaisuuksia.

Työn päätavoitteena oli muodostaa parametrisesti ohjattava tietokonemalli vetolaatikostolle. Työn aikana kehitettiin kolme erilaista mallia, joista jälkimmäiset kaksi olivat yrityksen tarpeisiin sopivia ja käyttökelpoisia. Kehitettyjen 3D-mallien muutoksia pystyttiin hallitsemaan laskentataulukon avulla ja muutokset päivittyivät automaattisesti niin osien, kokoonpanojen, kuin piirustustenkin tasolla.

Suunnittelijan työtä voidaan helpottaa tällaisten rutiininomaisten muutosten hallitsemiseksi rakennetulla parametrisella mallilla. Suunnittelukonfiguraattorin avulla on mahdollista tehdä tarvittavat pienet muutokset hyvin nopeasti verrattuna siihen, että muutokset tehtäisiin käsin. Tässä mielessä työn päätavoitteeseen päästiin. Myös valmistuspiirustukset päivittyvät 3D-mallin mukaisiksi, joten kunkin variaation tuotanto on mahdollista aloittaa nopeasti.

Vetolaatikostoja voidaan ajatella eräänlaisina erikoisajoneuvoon kuuluvina moduuleina. Työn tuloksena katsotaan syntyneen parametrista modulaarisuutta hyödyntävä moduuli, jota pystytään hallitsemaan konfiguraattorilla. Tällä tavoin voidaan nähdä asiayhteys myös massaräätälöintiin. Erikoisajoneuvoissa, kuten ambulansseissa on kuitenkin monia osakokonaisuuksia, joita on mahdollista lähestyä moduloinnin näkökulmasta. Modulointia ja konfigurointia pystytään toteuttamaan ilman massaräätälöintiä, mutta moduloinnin voidaan katsoa olevan tie massaräätälöintiin. Massaräätälöinti, modulointi ja konfigurointi liittyvät koko yrityksen toimintastrategiaan, eivät pelkästään tuotesuunnitteluun.

Vetolaatikostot ovat vain hyvin pieni osa erikoisajoneuvojen kokonaisuutta, eikä kaikissa yrityksen valmistamissa autoissa ole edes tässä työssä käsiteltyjä laatikostoja. Siinä mielessä myös muiden tuotteiden suunnittelu parametrisesti muunneltaviksi on ehdottomasti yksi jatkokehityskohde, kuten myös laatikostojen mallien kehittäminen edelleen. Laatikostoista saatiin kaksi käyttökelpoista parametrista mallia, joten näiden yhdistäminen voisi olla yksi kehittämisen kohde, joskin täysin valintakykyisyys. Laatikosto on kuitenkin suhteellisen yksinkertainen komponentti, joten sen mallin rakentaminen liian monimutkaiseksi voisi olla täysin turhaa työtä.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- AHONIEMI, L., MERTANEN, M., MÄKIPÄÄ, M., SIEVÄNEN, M., SUOMALA, P. ja RUOHONEN, M. 2007. Massaräätälöinnillä kilpailukykyä. Helsinki: Teknologiateollisuus Ry.
- GILMORE, J. H. ja PINE II, B. J. 1997. The Four Faces of Mass Customization. Harvard Business Review January – February 1997.
- HIETIKKO, E. 2012. Solidworks – Tietokoneavusteinen suunnittelu 2012. Kuopio: Savonia-ammatti-korkeakoulu. ISBN: 978-952-203-148-5
- JOKELA, M. 2011. Massaräätälöinti strategisena valintana. [Viitattu 2016-4-19] Saatavissa: <http://inside-the-plm.blogspot.fi/p/massaraatalointi-strategisena-valintana.html>
- J5L-Production Oy. Yrityksen verkkosivut. [Viitattu 2016-4-19] Saatavissa: <http://www.j5l.fi/>
- KAUPPALEHTI, J5L-Production Oy. Yrityshaku. [Viitattu 2016-4-19] Saatavissa: <http://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/jlproduction+oy/22036258>
- KOMULAINEN, K-P. Hankintapäällikkö. 3.2.2016. Yritysesittely. J5L-Production Oy. Alapitkä.
- LAPINLEIMU, I. 2000. Ideaalitehdas. Tampereen teknillinen yliopisto. Tuotantotekniikan laitos. Laitosraportti nro. 50.
- LAUKKARINEN, E. 2014. Design of a 3D configuration model for electric motors. Aalto yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Koneensuunnittelu. Diplomityö. [Viitattu 2016-4-19] Saatavissa: [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/14574/master\\_Laukkari-nen\\_Erkka\\_2014.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/14574/master_Laukkari-nen_Erkka_2014.pdf?sequence=1)
- LEHTONEN, T. 2007. Designing Modular Product Architecture in New Product Development. Tampereen teknillinen yliopisto. Väitöskirja. [Viitattu 2016-4-19] Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/70>
- PINE II, B. J. 1993. Mass Customization: The New Frontier in Business Competition. Harvard Business Review Press.
- SARINKO, K. 1999. Asiakaskohtaisesti muunneltavien tuotteiden massaräätälöinti, konfigurointi ja moduulointi. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto. Helsinki. Diplomityö. [Viitattu 2016-4-19] Saatavissa: <http://www.soberit.hut.fi/pdmg/papers/Sari99Mas.pdf>
- SORONEN, O. 1999. Massaräätälöinti asiakasmyötäisessä tuotannossa. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy. ISBN: 951-817-704-X
- SUOLAHTI, S. 2009. Varioituvan tuotteen valmistus linjassa. Tampereen teknillinen yliopisto. Kone-tekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. [Viitattu 2016-4-19] Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6528/suolahti.pdf?sequence=3>
- SÄÄKSVUORI, A. ja IMMONEN A. 2002. Tuotetiedonhallinta PDM. Helsinki: Satku. ISBN: 951-762-796-3
- TIIHONEN, J. ja SOININEN, T. Product Configurators – Information System Support for Configurable Products. Otaniemi, Suomi. 1997. [Viitattu 2016-4-19] Saatavissa: <https://www.cs.helsinki.fi/u/jutihon/publications/Tiihonenetal1998Configurators.pdf>
- VANERIKÄSIKIRJA, 2005. Helsinki: Metsäteollisuus Ry. [Viitattu 2016-4-19] Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Vanerik%C3%A4sikirja.pdf>

